

УДК 621.9

О.М. Шелковий, д-р техн. наук, В.С. Грушко, Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТРИВИМІРНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА

У даній статті на прикладі обробки деталі «Корпус редуктора» досліджується можливість використання гнучкого обладнання, що переналагоджується, в умовах масового виробництва на основі порівняльного аналізу ефективності його експлуатації по відношенню до автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком.

В данной статье на примере обработки детали «Корпус редуктора» исследуется возможность использования гибкого перенастраиваемого оборудования в условиях массового производства на основе сравнительного анализа эффективности его эксплуатации по отношению к автоматическим линиям с жесткой межагрегатной связью.

In this article on the example of treatment of detail «Gearcase» is investigated possibility of the use of flexible equipment in the conditions of mass production on the basis of comparative analysis of efficiency of his exploitation in relation to automatic transfer lines with hard interaggregate connection.

Вступ. Сучасною тенденцією металообробки є обробка невеликих партій виробів з продуктивністю близькою до продуктивності систем масової обробки.

У цих умовах найбільш прийнятним варіантом буде використання гнучких переналагоджуваних систем, які можуть дати можливість отримання необхідної якості, завдяки використанню багатоінструментальної обробки, а також скоротити час, що витрачається на налагодження, при використанні переналагоджуваного устаткування і оснащення, а також скоротити кошти, які використовуються на створення декількох автоматичних поточкових ліній.

Найважливішими характеристиками гнучкого автоматизованого виробництва є продуктивність, гнучкість та ефективність, які визначаються характеристиками основного та допоміжного обладнання, та правильним вибором конструкторсько-технологічних та організаційних схем. Спробуємо оцінити, наскільки ефективним та доцільним буде використання гнучкого обладнання в умовах масового виробництва.

Продуктивність є безперечно найважливішим показником ефективності виробничого процесу. Найбільш надійним і зручним кількісним критерієм продуктивності була продуктивність, яка вимірюється кількістю виробів, вироблених в одиницю часу (шт./год.), або її зворотна величина – трудомісткість виготовлення конкретного виробу. Прив'язка цих показників

до конкретного виробу робить їх малоефективними для оцінки продуктивності процесу, який здатен випускати різні вироби. ГВС має здатність виробляти не тільки різні деталі, але і різне їх число в одиницю часу.

Гнучкість ГВС у порівнянні з поточним виробництвом полягає у тому, що система з ЧПК на виробничому рівні власними зусиллями спроможна:

- виконувати різні операції для однієї і тієї ж деталі;
- виконувати однакові або різні операції для різних деталей;
- самоналагоджуватись при виникненні критичної ситуації (наприклад, зміні товщини зрізаного металу, поломка ріжучого інструменту і т.д.).
- проводити самоконтроль виконаних операцій (наприклад, діаметр отворів) і подальшого прийняття рішень;
- замінювати ті модулі обробки, які вийшли з ладу;
- керувати деякими із загальноприйнятих пристроїв (електронний щуп, пристрій контролю інструменту, пристрій очищення палет і т.д.);
- обслуговувати різні пункти в різних послідовностях;
- функціонувати як автоматично, так і в ручному режимі.

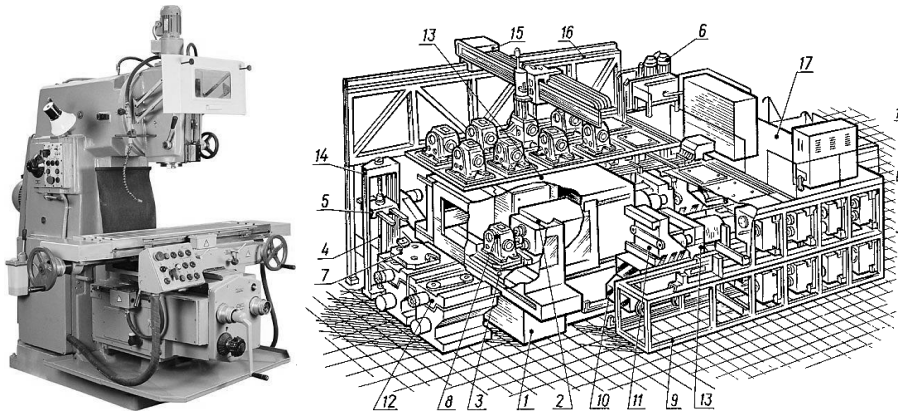
Очевидно, що кошти, які витрачені на обладнання в умовах використання ГВС у масовому виробництві, будуть значно менші ніж у потовому виробництві, але економічний ефект впровадження ГВС не завжди можна визначити простим порівнянням тільки вартості та інших показників основного обладнання та агрегатів. Спроби застосувати традиційні формули для підрахунку економічної ефективності впровадження ГВС часто призводять до негативного результату. Об'єднання в одній системі металообробки, контролю якості, транспортування, та інше, не просто складає, а нелінійно збільшує економічний ефект.

Досвід показує, що витрати з впровадження перших ГВС значно вище і скорочуються з впровадженням кожної наступної системи. Повністю оцінити ефективність впровадження ГВС можливо тільки за всебічної оцінки їх технічних, організаційних, економічних переваг та соціальних наслідків.

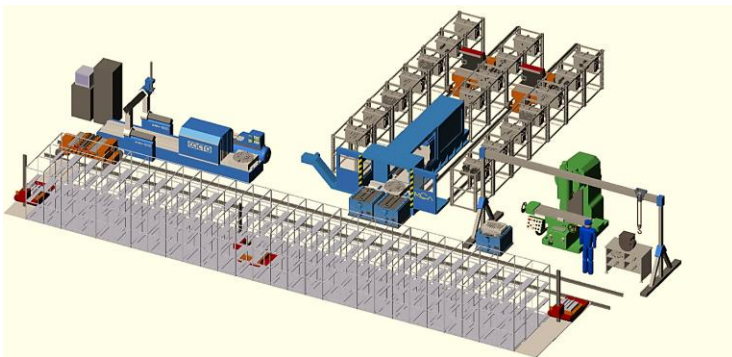
Мета дослідження та постановка задачі. Основною метою роботи є дослідження продуктивності обробки типових корпусних деталей в умовах масового гнучкого виробництва та аналіз її ефективності у порівнянні з автоматизованим поточним виробництвом.

Матеріали дослідження. У якості матеріалів дослідження використовуються деталь «Корпус редуктора» (рис.1), універсальний вертикально-фрезерний верстат моделі 6Т13-1 (рис.2, а), а також верстат з ЧПК моделі МА2765МЗФ4 (рис.2, б).

Деталь «Корпус редуктора» виготовлена з чавуну марки СЧ 15-32, має габаритні розміри 403×487×450 мм, квалітети точності оброблюваних поверхонь знаходяться в межах від ІТ 14 до ІТ 7, шорсткість поверхонь



а) б)



в)

Рисунок 2 – Структура ГВС:
(а,б) оброблювальне устаткування ГВС; (в) планування ГВС

При обробці деталі «Корпус редуктора» на верстаті MA2765M3Ф4 виконуються наступні операції: фрезерування, свердління, розточування і нарізування різьби. Для обробки деталі було обрано різальний та допоміжний інструмент компанії «Sandvik Coromant», бо ця фірма пропонує широкий діапазон металорізальних інструментів для обробки як звичайних сталей і чавунів, так і специфічних матеріалів (алюміній, титан, жароміцні і нержавіючі сплави), також інструмент оптимізований для досягнення вищої

продуктивності та ефективності виробництва. Вона також пропонує різноманітний допоміжний інструмент, який дозволяє виконувати обробку на різноманітному обладнанні.

Розрахунок режимів різання проведено в програмі «Сого Guide - 2007», що розроблена спеціально для інструментів та інструментальних матеріалів фірми «Sandvik Coromant». Діапазони режимів різання для обробки деталі знаходяться у межах: подача (S, мм/об) 0,047 – 6,08 мм/об, подача (S, мм/хв) 16,45 – 608 мм/хв., швидкість різання (V, м/хв.) 104 – 305 м/хв., потужність різання (N, кВт) 1,1 – 11 кВт, що дозволило використати при обробці всі технологічні можливості верстата мод. MA2765M3Ф4.

У MES – системі «ТехноPro 5+» сформовано груповий технологічний процес (рис. 3), який став інформаційною базою для 3D та 2D - моделювання обробки деталі «Корпус».

001 Корпусний ПП			
001 Корпус редуктора			
Деталь			
001 Вертикально-Фрезерна			
001 Установити і загерметизувати деталь на станку			
002 Фрезерувати поверхню прилегання 400001 правдирально і окантально на глибину 3,2 мм			
003 Центрувати 2 отвори 630401 діаметром 10 мм			
004 Свердиль отв. 2 отв. 630401 діаметром 15 мм			
005 Расточить 2 отвори 630401 до діаметра 30 мм			
006 Расточить 2 отвори 630401 до діаметра 35 мм			
007 Контролювати оброблені поверхні			
008 Скласти оброблену деталь со станку			
010 Конвалювання			
001 Установити і загерметизувати деталь на станку			
002 Фрезерувати поверхню прилегання 400601 правдирально і окантально на глибину 3,3 мм			
003 Центрувати 12 отворів 590601 діаметром 10 мм			
004 Свердиль 6 отворів 590601 діаметром 10,2 мм на глибину 32 мм			
005 Свердиль 4 отвори 590602 діаметром 17,5 мм на глибину 37 мм			
006 Свердиль 4 отвори 590602 діаметром 15,5 мм на глибину 32 мм			
007 Центрувати отвори 590603 діаметром 10 мм			
008 Центрувати 5 отворів 590604 діаметром 17 мм			
009 Замовити 4 отвори 590601 діаметром 18 мм над угтем 60 градусів			
010 Свердиль 5 отворів 590604 діаметром 17,5 мм			
007 Нарезати різьбу 680601 M12 на 6 отв. на глибину 22 мм			
008 Нарезати різьбу 680602 M20 на 6 отв. на глибину 27 мм			
009 Нарезати різьбу 680603 M12 на 6 отв. на глибину 22 мм			
010 Нарезати різьбу 680604 M20 на 5 отв. на глибину 27 мм			
009 Покрити захисним на 180 градусів			
010 Фрезерувати поверхню прилегання 400601 правдирально і окантально на глибину 2,2 мм			
Фрезерувати поверхню прилегання 400602 правдирально і окантально на глибину 2,2 мм			
Фрезерувати поверхню прилегання 400603 правдирально і окантально на глибину 2,2 мм			
011 Центрувати 4 отвори 650501 діаметром 10 мм			
012 Центрувати отвори 650502 діаметром 25,5 мм на глибину 30 мм			
013 Свердиль 4 отвори 650501 діаметром 10,2 мм на глибину 32 мм			
014 Свердиль отвори 650502 діаметром 25,5 мм на глибину 22 мм			
015 Нарезати різьбу 680501 M12 на 4 отв. на глибину 20 мм			
016 Нарезати різьбу 680502 M27 на отв. на глибину 22 мм			
017 Обточить діаметр 630501 на розмір 220 мм правдирально на глибину 2,2 мм			
018 Расточить отвір 650501 до діаметра 198,1 мм правдирально на глибину 2,2 мм			
019 Расточить отвір 650502 до діаметра 179,6 мм правдирально на глибину 2,2 мм			
020 Расточить отвір 650503 до діаметра 164,6 мм правдирально на глибину 2,2 мм			
021 Точиль фаску 590501 в розмір 3 × 30 град.			
022 Точиль фаску 590502 в розмір 3 × 30 град.			
023 Расточить отвір 650505 до діаметра 60 мм правдирально на глибину 1,9 мм			
024 Точиль фаску 590504 в розмір 2 × 30 град.			
025 Расточить отвір 590504 до діаметра 109,6 мм правдирально на глибину 2,2 мм			
026 Точиль фаску 590503 в розмір 3 × 30 град.			
027 Расточить отвір 590501 до діаметра 200 мм			
028 Расточить отвір 590502 до діаметра 180 мм			
029 Расточить отвір 590504 до діаметра 110 мм окантально на глибину 0,4 мм			
030 Покрити захисним на 180 градусів			
031 Расточить отвір 590501 до діаметра 160 мм окантально на глибину 0,4 мм			
032 Расточить отвір 590602 до діаметра 110 мм окантально на глибину 0,4 мм			
033 Расточить отвір 590603 до діаметра 110 мм окантально на глибину 0,4 мм			
034 Точиль фаску 590602 в розмір 3 × 30 град.			
035 Точиль фаску 590603 в розмір 3 × 30 град.			
036 Точиль фаску 590604 в розмір 3 × 30 град.			
037 Расточить 4 отвори 650602 до діаметра 32 мм на глибину 32 мм			
038 Контролювати оброблені поверхні			
039 Скласти оброблену деталь со станку			
040 Покрити захисним на 180 градусів			
041 Покрити захисним на 180 градусів			
042 Конвалювання			
043 Конвалювання			
040 Інвентарний контроль			

Рисунок 3 – Груповий технологічний процес для обробки деталі «Корпус редуктора»

Розробка імітаційної моделі ГВС для обробки деталі «Корпус редуктора» та моделювання обробки в ній здійснювались за допомогою програм Solid Works і GPS 3D. Було модельовано обробку деталі «Корпус редуктора» на ГВС в умовах масового виробництва малими партіями деталей з урахуванням технічних, організаційних та технологічних особливостей процесу обробки.

В результаті математичного експерименту було отримано циклограму роботи обладнання (рис. 4), яка відображає стан модулів виробничої системи і дозволяє аналізувати послідовність обробки деталі окремими модулями (чорний кольором на діаграмі позначено очікування модуля, червоним – робота модуля, помаранчевим - розвантаження модуля, блакитним - завантаження модуля). Визначено загальний часу обробки партії деталей з

8 штук, який склав 3.8 години.

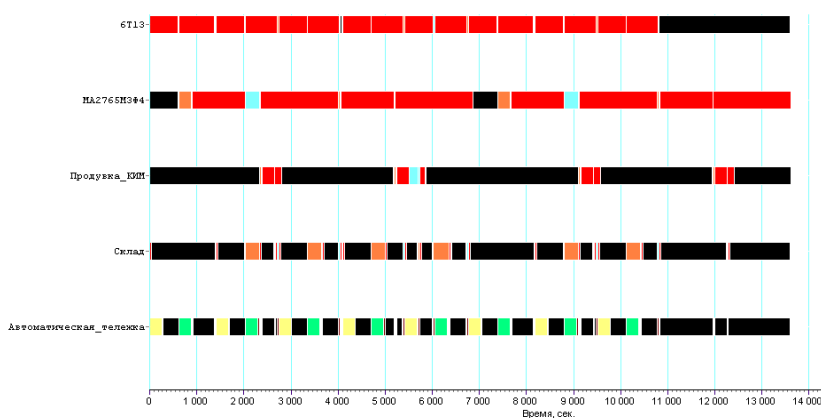
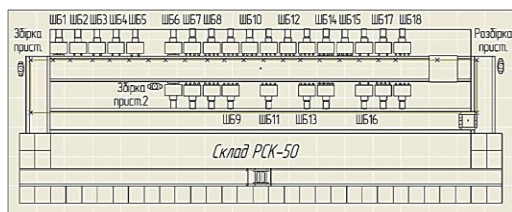


Рисунок 4 – Циклограма обробки деталі «Корпус редуктора»

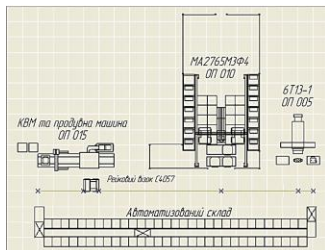
В системі «GPS» розроблено імітаційні 2D-моделі гнучкої (б) та потокової (а) виробничих системи, які складаються з обробних та транспортно-накопичувальних модулів (рис. 5), що дало можливість виконати порівняльну оцінку ефективності обробки в ГВС через рівень її завантаження, енергетичні витрати, та коефіцієнт корисної дії при виготовленні деталі «Корпус редуктора».

З графіка «Завантаження виробничих систем у часі» (рис. 6) видно, що максимальний рівень завантаження виробничої системи базового варіанта складає майже 60%, проте к кінцю обробки падає до 25%, у свою чергу, максимальний рівень завантаження виробничої системи основного варіанта складає 50%, та к кінцю обробки складає 45%. Це означає, що при обробці невеликої партії деталей конструкція модуля мод. МА2765МЗФ4 дозволяє виконувати операції обробки більш синхронно, ніж це робить автоматична лінія (АЛ) тому, що в ГВС є всього один оброблювальний модуль, який налагоджується на оптимальні режими різання.

З графіку «Витрати енергії у виробничій системі у часі» (рис. 7) видно, що найбільший рівень енергетичних витрат має виробнича система досліджуваного варіанту (14500 кДж), в порівнянні базовим (понад 7000 кДж). Це можна пояснити декількома причинами: більш значними, ніж потрібно для обробки деталі «Корпус редуктора» енергетичними параметрами силових устаткувань, що обумовлено необхідністю обробки в широкому діапазоні розмірів и матеріалів; наявністю енергомістких транспортно-накопичувальної та вимірювальної системи.



а)



б)

Рисунок 5 – 2D – моделі систем обробки деталі «Корпус»:
а) для базового варіанту на основі автоматичної лінії
з жорстким міжагрегатним зв'язком; б) для досліджуваної системи

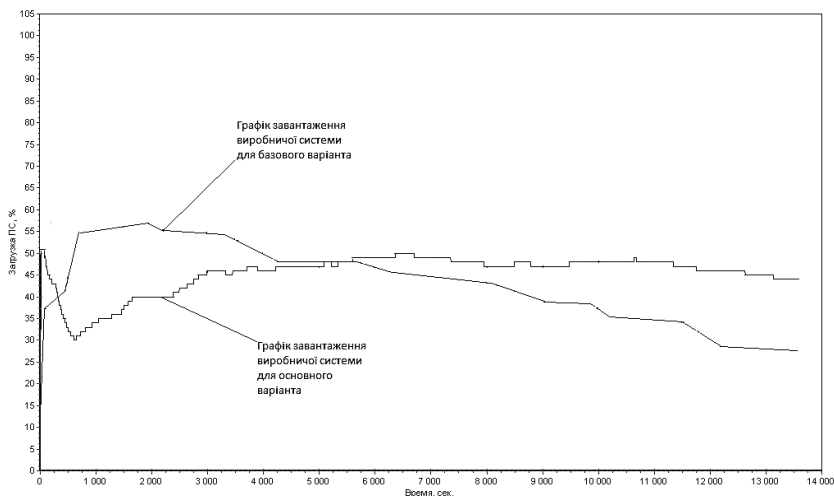


Рисунок 6 – Графік «Завантаження виробничих систем у часі»

З графіку «Витрати потужності приводів виробничих систем у часі» (рис. 8) видно, що для досліджуваного варіанта максимальна питома потужність складає 17 кВт, для базового – 11 кВт. При цьому, питома потужність у сталому режимі для ГВС складає біля 12 кВт, а для АЛ – біля 10 кВт. Велику розбіжність між сталою потужністю енергетичного обладнання та піковим навантаженням пояснюється необхідністю в більш енергомісткім етапі завантаження оброблювального устаткування у ГВС ніж у АЛ. В той же час, основне обладнання в обох випадках працює з приблизно однаковими затратами потужності. А враховуючи те, що ця потужність, в першому

випадку, забезпечується одним силовим агрегатом, а в другому – вісімнадцятою, то для ГВС є наявним вигрaш у надійності обробки та капітальних затратах на обладнання виробничої системи.

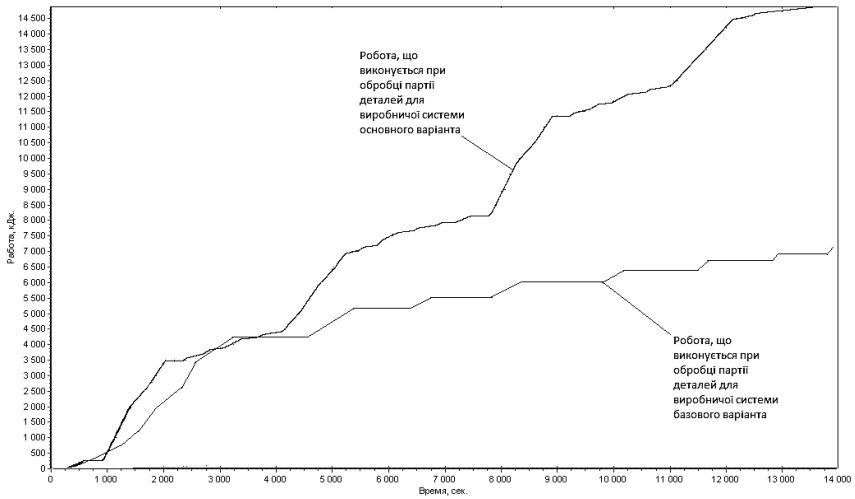


Рисунок 7 – Графік «Витрати енергії у виробничій системі у часі»

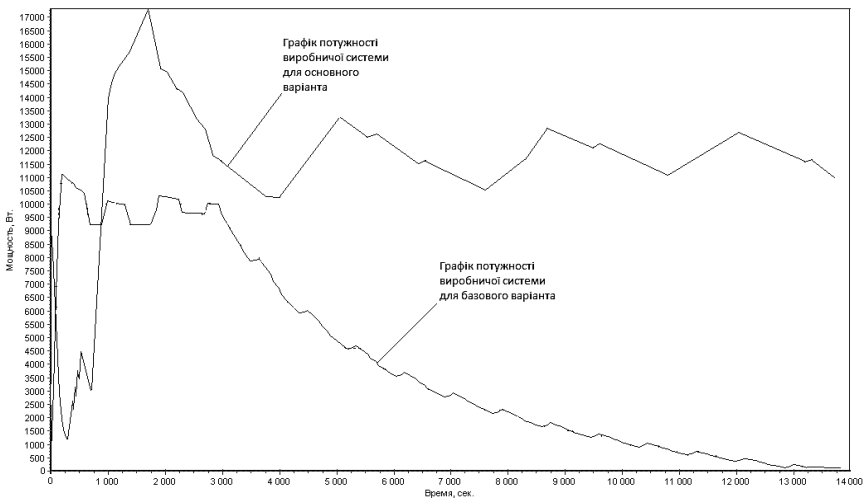


Рисунок 8 – Графік «Витрати потужності приводів виробничих систем у часі»

Оцінюючи комплексний ефект від затрат енергії в у ГВС та АЛ (графік «Зміна коефіцієнту корисної дії в виробничих системах у часі» (рис. 9) можна прийти до таких висновків: що рівень коефіцієнту корисної дії за енергетичними затратами (ККД - на графіку - КПД) досліджуваної системи на початку часового інтервалу досягає 88%, що обумовлено оптимальними транспортними переміщеннями, але у подальшому в процесі обробки він знижується і в кінці складає приблизно 25%. Максимальний рівень ККД базового варіанта складає 53%, у процесі обробки знижується до 5%. Отже, за енергетичними показниками процесу обробки та транспортування ККД ГВС значно більше (майже в 5 разів), ніж ККД АЛ. Це пояснюється великими енергетичними затратами входу автоматичної лінії в процес обробки, та виходом з неї (коли більшість силових агрегатів працює «в холосту»).

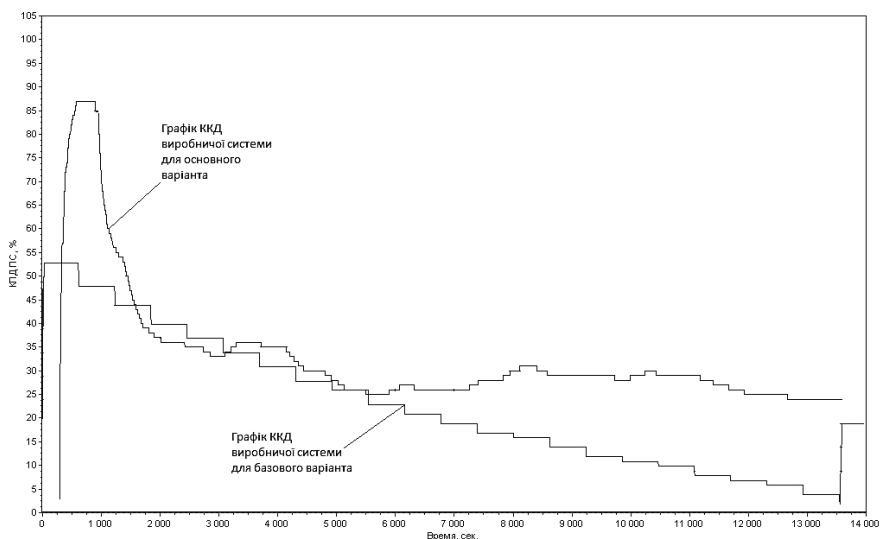


Рисунок 9 – Графік «Зміна коефіцієнту корисної дії в виробничих системах у часі»

Висновки. З'ясувалось, що за рівнем завантаження та витратами потужності на процес обробки ГВМ більш прийнятні, ніж АЛ. Що обумовлено наявністю більш гнучкої системи налагодження на процес обробки.

В той же час, за загальними затратами енергії на процес обробки виробу ГВМ менш ефективна ніж АЛ. Тому більш повне використання енергетичних можливостей ГВС у масовому виробництві є актуальним завданням. Цього

можна досягти, використовуючи швидкозмінне технологічне оснащення в наступних напрямках:

- підбір шпиндельних коробок для групової обробки з максимальною потужністю;
- розробка шпиндельних коробок зі змінними параметрами налагодження (за діаметром обробки та міжвісьовою відстанню).

Список використаних джерел: 1. *Шелковой А.Н., Грушко В.С.* Исследование продуктивности и надежности обработки корпусных деталей в ГПС крупносерийного производства //Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.175-177. 2. *Автоматы и автоматические линии. Ч. I. Основы проектирования.* Под ред. Шаумяна Г.А. Учеб. пособие для вузов. М: Высшая школа, 1976. – 230 с. 3. *Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей:* Учеб пособие для вузов /Подобш. ред. Солюменцева Ю.М. - М.: Машиностроение, 1989. –192 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2013